專報 第二號　　民國三十六年六月

普通浮秤法土壤機械分析之研究

陳振鐸　華孟

臺灣省農業試驗所

臺灣省臺北市

Technical Bulletin No. 2 **June 1947**

The Use of Common Hydrometer for the Mechanical Analysis of Soils

By

C. T. CHEN and M. HUA

Published by
TAIWAN AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE
Taipeh, Taiwan, China

目 次

前人工作……1
裝置及方法……3
試驗結果……5
討 論……9
結 論……11
附 錄……11
参考文獻……17
英文摘要……18

普通浮秤法土壤機械分析之研究[1]

陳 振 鐸[2]　　華　　孟[3]

鮑氏浮秤法 (Bouyoucos Hydrometer Method) 爲土壤或其他微粒物質機械組成分析方法之一種，因操作簡易省時，且分析結果亦相當可靠，故曾廣受採用。操作時以鮑氏浮秤於一定時間後探測供試懸液之密度，然後推算懸液中浮游粒子之多寡，而求出供試物質之機械組成。惟此項浮秤爲美國專利品之一，在國內不能隨處覓得。而土壤簡易機械分析方法之需要日殷，故研究類似鮑氏所創者之方法，似亦未可忽視也。

細考鮑氏浮秤法之原理，任何浮秤，皆可適用。著者等以爲倘能改正此項方法中諸校正值，則亦可用普通浮秤而得相當可靠之結果。乃自民國 31 年秋，開始作鮑氏浮秤與普通浮秤在機械分析上之性能比較試驗。所得結果，尙屬滿意，今特公諸於後，以供同道參考，並祈指正。

前 人 工 作

吾人設將一定量之土壤投於水中，並將所成懸液調成一定容積，而於一定時間後觀察水面下某一深度之靜水壓力或密度，則可知二者隨深度之大小與時間之長短，有顯著之變化，且變化之程度與介質（水）中所浮游大小土粒之分佈與多寡有函數關係。凡含粗大土粒較多之土壤，在某一定時間浮游於某一深度介質中之土粒必少，反之必多。換言之，即懸液靜水壓力與密度之變化，視土壤之機械組成而定。現今重要之土壤機械分析法，多根據此原理，測定土壤懸液之靜水壓力或密度隨時間或深度所起之變化，而推算各級土粒之數量也。

據靜水壓力之變化而推算土壤機械組成諸方法中，最完善者首推 Odén (*13*) 之自動天秤法，此法以自動裝置，記錄懸液中土粒重量隨時間所生之變化，結果極爲詳盡準確，惜乎手續繁複，所需時間設備亦多，故未能廣用。Wiegner (*20*) 仿照 Odén 之原理，以較簡單之儀器分析土壤，其法乃於一大管中盛以土壤懸液，而於另一小管裝蒸餾水，大管之下部，以附有活塞之細管與小管聯絡。當大管中之土粒降至兩管接觸部份以下時，因懸液之靜水壓力減低，小管中水柱高度亦下降，倘不時觀測水柱高度，可用妥善公式算出各級土粒含量。此法雖簡單，但受環境之影響較大，不易得準確之結果。此外利用靜水壓力者尙有 Swedberg (*12*) 之自記遠心力法，Richardson (*12*) 之光電學法，與 Klein 及 Wiegner (*12*) 之混濁度法等，以其與本文無關，故不贅述。

（1） 本文試驗部份係在廣東坪石國立中山大學研究院土壤學部舉行，承鄧植儀，謝申，馮子章諸教授不時予以協助，原文英文稿復蒙美國加州大學農學院土壤物理學教授 G. B. Bodman 氏校閱指正，不勝銘感誌此謹表謝忱。

（2） 臺灣省農業試驗所農業化學系兼主任。

（3） 臺灣省農業試驗所技正。

至於由懸液密度之變化而推算土壤機械組成者有 Kraus, Köttgen, Köhn, Kubiena (*12*) 等方法，就中最普遍者推 1922 年英人 Robinson (*17*) 所創用之吸管法；該氏 (*18*) 並以總合曲線 (Summation Curve) 之形狀，表示各種不同之機械組成。Crowther (*6*) 曾用類似壓力計之一種裝置，探測土壤懸液密度隨時間變化之趨向，以計算土壤之機械組成。1927 年鮑氏 (Bouyoucos) (*2*) 發表其著名之浮秤法，此法因其分析所依據之學理，尚未十分充實，仍不能脫却經驗性質 (Empirical nature)。故 Keen (*11*) 認爲鮑氏法僅有定性價值。並指出其根本缺點二：(1) 土壤懸液中各深度層之密度並不均等，上下層之差異殊大，以鮑氏浮秤所測得之密度，乃懸液全層平均密度之近似值，而非吾人所企求某一深度層之密度；(2) 浮秤之體積過大，放入懸液中每使懸液受擾動，影響觀測之準確度。1931 年 L. B. Olmstead 等 (*14*) 亦指出鮑氏法若干缺點，如浮秤在懸液中所佔容積過大，土粒易於其頸部堆積而增加本身之荷重；所用温度改正數不甚適當等；凡此種種，皆足使所得結果不確。但以上諸端，亦不外 Keen 所指摘之基本兩點。同時 Olmstead 等以浮秤法雖不可靠，然其利用 Archimedes 原理是爲可取之處，乃另行設計一仿韋氏比重天秤(Westphal Balance)之裝置。主要部分爲一尖錐狀球體，以金屬鎖鏈連繫之於天秤，鎖鏈之長度爲 10 cm.，尖錐體之體積爲 10 ml.。測定方法則於不同時間將尖錐體迅速插入懸液中，其在懸液中所減輕之重量除以 10，即爲該懸液面下 10 cm. 處之密度。本法由於懸液密度之探測深度，及懸液中尖錐球體之容積，皆有規定，故可改善鮑氏法若干缺點，但以秤量時必須極端迅速，否則嚴格論之亦必遭遇與鮑氏法同樣之困難也。

概言之，鮑氏法雖有上列各缺點，但因其簡便省時，結果相當可靠，故採用而謀改善者仍不乏人，即鮑氏 (*5*) 本人，亦不斷努力於浮秤法之改進與研究。此外爲求結果之準確，鮑氏與各學者對測定之數值加以種種校正。校正值中最主要者爲温度之校正，任何液體物質之密度莫不受温度之影響。鮑氏本人對此問題亦曾愼加考慮，將其所設計之浮秤於 67°F 校正，並謂使用該浮秤時，若懸液之温度高於或不及 67°F 時，可就所差之華氏度數，每度以(± 0.2)之校正值匡正之。1931 年 Richter (*16*) 報告謂："供試土壤懸液之濃度與温度均對温度校正值有莫大影響，若不顧及懸液濃度及温度距離標準温度之遠近，一律加以 (± 0.2) 校正値，則所生差異，必相當嚴重。"此後 Bodman (*1*) 曾提出一温度校正法，以水在各温度與在標準温度之密度差，用浮秤每一刻度間之密度差除之，而求得校正數值。本温度校正值因温度高低而不同，似較妥善，今人多採用之。Giacanin (*8*) 謂温度不僅影響介質之密度及粘滯係數，對土粒分散之程度亦有莫大關係云。

採用鮑氏法應注意之問題，尚有 Keen 所指摘之 (1) 項，即浮秤所探測之密度乃浮秤所淹沒部份之平均密度，而非懸液中某固定深度之密度。最初鮑氏 (*4,5*) 以懸液全層爲土粒沈降深度，並以浮秤讀度代表在該時間內尚未降落至懸液底部之土粒全量。又依多數試驗結果，經統計後發見浮秤法在 40 秒，1 小時，及 2 小時所測得之數值，恰與吸管法小於 50μ，小於 5μ 及小於 2μ 等三級土粒之重量相等，因之鮑氏乃擇定上列時間爲探測浮秤讀度之時間。就理論上言，5μ 與 2μ 土粒在 1 小時及 2 小時內沈降之深度，絕不能達懸液全深度 (35—40 cm.)。可知鮑氏法探測時間之決定，完全爲經驗的，故其以懸液全深度爲土粒沈降深度，大有修正之必要。爲更正上述之

點與尋求鮑氏法測得各級土粒之平均有效粒，現今學者多採 Keen 所執觀點，即所謂懸液平均密度，等於懸液中某一固定深度之密度。該深度之求出，在鮑氏法中殊爲重要。蓋若得此深度與探測時間，始可由 Stokes 定律計算土粒之有效粒徑也。Thoreen (*19*) 經多次試驗結果，衍出 0.37-0.50 間諸數值，取其平均 0.42 爲一深度因數，並說明若將此深度因數與浮秤所淹沒之長度 (L) 相乘，可得土粒沈降之深度。如已知探測時間與土粒沈降深度，則可依 Stokes 定律算出各級土粒之有效粒徑矣。現今鮑氏浮秤法中粒徑之計算法即依據於此。

經各方多年之努力，鮑氏法雖不能完全脫却 Keen 所謂經驗性質，但其所具各項缺點，已逐漸減少，觀測結果亦漸能近乎事實。故近來本法不僅用於土壤之機械分析，鮑氏 (*3*), Peele (*15*), Gerdel (*7*) 等且推廣其用途於土壤之團粒分析及各種微粒物質如病蟲害藥劑與礦砂等之分析矣。

裝置及方法

本試驗所用之浮秤爲普通精密浮秤，測定密度範圍由 1.000 至 1.200 g./ml.，浮秤全長爲 35cm.，刻度共爲 200, 每 1 刻度間之密度差適爲 0.200/200=0.001 g./ml. 觀測之準確度爲 ±0.0005 g./ml.，全浮秤刻度係在 15°C 校正。

本浮秤每 1 刻度所代表土壤重量與懸液中土粒含量百分數，可依 Fisher-Odén 公式計算如下：

A. Fisher-Odén 公式及其應用： Fisher-Odén 公式爲：

$$P_S=P_W+\frac{W}{L}(1-\frac{P_W}{P_r})\cdots\cdots(1)$$

式中 P_S，P_W，P_r 爲土壤懸液，介質與土粒之密度；W 爲浮游土粒之重量；L 爲懸液之容積。

設將 50 g. 土壤投入水中，並加 5ml. 之 1N 草酸鈉爲分散劑，調成 1000 ml.懸液，則懸液密度 (P_S) 應爲：

$$P_S=0.9994+\frac{50}{1000}(1-\frac{0.9994}{2.65})=1.0305\ g./ml.\cdots\cdots(2)$$

在式 (2) 中假定土壤之密度爲 2.65；介質之密度爲水在 15°C 時之密度 (0.9991), 加分散劑在懸液中所生密度差($\frac{0.2561}{1000}$), 而得：

$$0.9991+\frac{0.2561}{1000}=0.9994\ g./ml.\cdots\cdots(3)$$

B. 本浮秤上每 1 刻度所示土壤重量及懸液中土粒之重量百分數： 自前項懸液密度減去介質密度，而以本浮秤每 1 刻度間之密度差除之，則可得5 0 g. 土壤完全浮游時之懸液密度與純介質密度間之刻度數目：

$$(1.0305-0.9994)-0.001=31.1\cdots\cdots(4)$$

又每 1 刻度所示土壤重量爲

$$50/31.1=1.6077\ g.\cdots\cdots(5)$$

如以 h 爲浮秤讀度（高於純介質密度之刻度數），△h 爲溫度校正值，則懸液中浮游土粒之重量爲 1.6077 (h+△h)g.，至該土粒重量對全部土壤樣品之百分數爲 (h+△h)/31.1×100。

爲便利計，茲將本浮秤讀度與浮游土粒之重量關係列於表 1，以供參考。

表 1. 本浮秤讀度與浮游土粒重量百分數 (15°C)

懸液密度 (g./ml.)	土壤重量 (%)	懸液密度 (g./ml.)	土壤重量 (%)	懸液密度 (g./ml.)	土壤重量 (%)	懸液密度 (g./ml.)	土壤重量 (%)
1.0000	1.92	1.0075	26.04	1.0150	50.10	1.0230	75.88
1.0005	3.52	1.0080	27.64	1.0155	51.76	1.0235	77.48
1.0010	5.14	1.0085	29.26	1.0160	53.36	1.0240	79.08
1.0015	6.74	1.0090	30.86	1.0165	54.98	1.0245	80.70
1.0020	8.36	1.0095	32.46	1.0170	56.58	1.0250	82.30
1.0025	9.96	1.0100	34.08	1.0175	58.18	1.0255	83.92
1.0030	11.56	1.0105	35.68	1.0180	59.80	1.0260	85.52
1.0035	13.18	1.0110	37.28	1.0185	61.40	1.0265	87.12
1.0040	14.78	1.0115	39.90	1.0190	63.02	1.0270	88.74
1.0045	16.38	1.0120	40.50	1.0195	64.62	1.0275	90.34
1.0050	18.00	1.0125	42.12	1.0200	66.22	1.0280	91.96
1.0055	19.60	1.0130	43.72	1.0205	67.84	1.0285	93.56
1.0060	21.22	1.0135	45.32	1.0210	69.44	1.0290	95.16
1.0065	22.82	1.0140	46.94	1.0215	71.06	1.0295	96.78
1.0070	24.42	1.0145	48.54	1.0220	72.66	1.0300	98.38
				1.0225	74.26	1.0305	100.00

又在 15°C 以外諸溫度，使用本浮秤測定懸液密度時，應加減之溫度校正值列如表 2。

表 2. 本浮秤之溫度校正值

懸液溫度 °C	水之絕對密度 g./ml.	與 15°C 水之密度差	溫度校正值
5	1.0000	0.0009	− 0.9
7	0.9999	0.0008	− 0.8
9	0.9998	0.0007	− 0.7
11	0.9996	0.0005	− 0.5
13	0.9994	0.0003	− 0.3
15	0.9991	—	—
17	0.9988	0.0003	+ 0.3
19	0.9984	0.0007	+ 0.7
21	0.9980	0.0011	+ 1.1
23	0.9976	0.0015	+ 1.5
25	0.9971	0.0020	+ 2.0
27	0.9965	0.0026	+ 2.6
29	0.9960	0.0036	+ 3.1

試 驗 結 果

A. 普通浮秤之準確範圍：

爲明瞭本浮秤之準確範圍，特以吸管法，鮑氏浮秤法，普通浮秤法分析同一土壤。玆將分析之結果及其標準偏差之變異係數，列於表 3。

表 3. 各種方法分析之結果與變異係數（土壤 No. 8）

方 法	土粒粒徑 (μ)	土壤重量 (%) 1	2	3	4	平均	平均偏差	平均偏差之變異係數 (%)	標準偏差	標準偏差之變異係數 (%)
吸管法	<2	62.97	63.31	63.18	63.06	63.13	0.09	0.142	0.15	0.237
	5-2	2.70	3.55	2.91	2.92	3.02	0.26	8.609	0.36	11.920
	50-5	20.53	20.14	20.41	20.92	20.50	0.24	1.170	0.32	1.560
	>50	13.80	13.00	13.50	13.10	13.35	0.30	2.247	0.37	2.771
鮑氏浮秤法	<2	62.81	61.45	62.51	63.59	62.59	0.54	0.862	0.87	1.368
	5-2	6.07	7.53	5.20	4.12	5.73	0.82	14.310	1.44	35.130
	50-5	27.01	26.61	27.88	27.88	27.34	0.54	1.975	0.64	2.340
	>50	4.11	4.41	4.41	4.41	4.33	0.12	2.770	0.15	3.464
普通浮秤法	<2	58.23	59.35	59.55	60.85	59.49	0.73	1.227	1.07	1.798
	5-2	3.31	3.19	2.99	3.07	3.14	0.11	3.503	0.14	4.458
	50-5	13.63	12.63	15.50	13.64	13.85	0.82	8.963	1.36	9.819
	>50	24.83	24.83	21.96	22.44	23.51	1.31	5.572	1.53	6.507

表 3 所列數字，雖顯示鮑氏法所得之結果與吸管法所獲者較爲接近，但在普通浮秤法諸次分析結果間，均甚一致。鮑氏法變異稍大者或係由於其浮秤有特殊構造所致。鮑氏浮秤下端之玻球，容積達 65－75 ml.，而本試驗所用之普通浮秤，下端之玻球僅佔 30－35 ml.。查玻球之容積愈大，則在探測懸液密度時，對土粒下降所生之擾動亦愈大。此外尙有構造上特點頗值注意者，即鮑氏浮秤之全長爲 28 cm. 由 0° 至 50° 間所佔長度爲 8.7 cm. 幾爲全長之 1/3；而本浮秤之全長爲 35 cm.，由 0° 至 50° 所佔長度僅爲 3.1 cm.，尙不及全長之 1/10。此點雖表示本浮秤之靈敏程度較差，但於探測懸液密度時其所予之讀度差異亦較小。

B. 普通浮秤使用上之限制：

表 3 示本浮秤於稀薄懸液中或不能得準確結果，因其不若鮑氏浮秤之靈敏也。爲明瞭使用本浮秤之適宜濃度範圍，以期在該濃度範圍內能得準確結果，著者等特用同一土壤，配置各種不同濃度之懸液，以本浮秤行若干次重覆測定，並計算其變異係數以資比較，分析之結果列於表 4。

表 4. 普通浮秤法使用上之限制

樣品量(g.)	土粒粒徑 (μ)	土粒重量(%)					標準偏差	標準偏差之變異係數 (%)
		1	2	3	4	平均		
50	<2	58.23	59.35	59.55	60.85	59.49	1.07	1.79
	5-2	3.31	3.19	2.99	3.07	3.14	0.14	4.45
	50-5	13.63	12.63	15.50	13.64	13.85	1.36	9.80
	>50	24.83	24.83	21.96	22.44	23.51	1.53	6.50
45	<2	57.26	56.90	56.90	57.00	57.01	0.17	0.29
	5-2	3.62	3.55	3.53	3.22	3.48	0.18	5.17
	50-5	17.46	17.92	17.97	18.62	17.99	0.70	3.89
	>50	21.66	23.63	21.60	21.16	21.51	0.71	3.30
40	<2	54.16	53.85	52.85	59.50	55.09	3.17	5.75
	5-2	3.39	3.34	3.71	3.22	3.55	0.21	5.91
	50-5	17.18	17.44	18.05	18.17	17.71	0.48	2.71
	>50	25.27	25.37	25.39	19.11	23.76	2.96	12.45
35	<2	53.10	53.10	53.10	54.24	53.38	0.57	1.07
	5-2	3.29	3.29	3.29	3.73	3.40	0.19	3.59
	50-5	17.75	17.75	20.07	18.43	18.50	1.09	5.89
	>50	25.86	25.86	23.54	23.60	24.72	1.32	5.34
30	<2	51.79	51.79	51.79	54.41	52.45	1.81	3.45
	5-2	5.66	5.66	5.66	3.22	5.05	1.22	24.16
	50-5	19.24	19.24	19.24	18.34	19.01	0.45	2.37
	>50	23.31	23.31	23.31	24.03	23.49	0.41	1.75
25	<2	57.16	54.16	54.16	56.36	55.46	1.54	2.78
	5-2	3.53	3.53	3.53	3.22	3.45	0.16	4.64
	50-5	17.63	16.55	16.55	17.69	17.10	0.64	3.76
	>50	21.68	25.76	25.76	22.73	23.98	2.24	9.34
20	<2	52.04	52.04	52.04	55.88	53.00	1.92	3.62
	5-2	4.25	4.39	4.25	4.02	4.23	0.15	3.55
	50-5	18.05	18.91	18.08	18.98	18.51	0.50	2.70
	>50	25.63	24.66	25.63	21.12	24.26	3.49	14.38
15	<2	45.48	45.48	45.48	50.85	46.82	2.68	5.72
	5-2	11.48	5.77	5.77	3.22	6.55	3.48	53.12
	50-5	18.85	18.59	23.34	22.34	20.78	2.41	11.60
	>50	24.21	30.16	25.41	23.59	25.86	3.03	11.71

表 4 中土壤懸液之濃度乃以分析時土壤樣品之重量表示。此種供試懸液製法，雖使各懸液含有一定比率之粘土與埴土。但本實驗所着重者，爲獲得不同濃度之懸液，以代表不同質地之土壤。故上述處理在結果之解釋上，尚不致引起任何錯誤。凡採取樣品之重量與 50 g. 之差，可視之爲在探測懸液密度時早已降至圓筒底部之土粒，換言之即砂也。

表4中宣示在砂粒含量多於 60%，或所採樣品之重量少於 20g. 時，本浮秤不能給予完滿結果，蓋其變異係數在此種情形下似嫌過大，不足保證分析所得數字爲可靠。著者等深知表4中羅列諸變異係數，槪嫌略高；本試驗係在戰時自戰區撤退之臨時試驗室中進行者，若於設備完善之試驗室行同樣試驗則必可獲較佳結果。

C. 普通浮秤法與吸管法在不同濃度粘土懸液中所獲結果之比較：

上列各表中，普通浮秤法分析結果之變異係數雖不甚高，但其與吸管法分析結果之差異仍極顯著。此點似主由於土壤懸液中上下之密度不同，而其密度差異對兩種分析方法發生不同影響所致。此外，兩種分析方法之探測與吸取試液之時間及探測密度之深度亦各不相同。

靜置土壤懸液時，於其上下層間必發生密度差異，因之於一定時間後，以浮秤法及吸管法所測得之結果未必符合。爲證實於無密度差異之懸液層中，二法所得結果是否符合，特用各種不同濃度之均一粘土懸液，在土粒未開始沈降時，使用二法分別探測其密度。玆將所得結果列於表5。

表 5. 吸管法與普通浮秤法分析不同濃度懸液之結果

懸液密度 (g/ml.)	溫度 (°C)	普通浮秤法 1 l. 中土粒量 (g.)	吸管法所得土粒量 (g).			二法所得 1 l. 中土粒量之差異 (g.)
			10 ml. 中	20 ml. 中	1 L. 中	
1.0010	23	4.96	0.0549	0.1090	5.47	0.51
1.0050	20	10.29	0.1015	0.2020	10.12	− 0.17
1.0075	22	16.12	0.1555	0.3055	15.41	− 0.71
1.0090	22	18.54	0.1830	0.3630	18.22	− 0.32
1.0105	26	22.24	0.2260	0.4410	22.32	0.08
1.0130	26	25.44	0.2590	0.5200	25.95	0.51
1.0140	26	27.04	0.2810	0.5450	27.67	0.63
1.0155	26	29.44	0.2965	0.5930	29.65	0.21
1.0170	26	31.84	0.3265	0.6530	32.65	0.81
1.0225	25	40.16	0.4060	0.8110	40.57	0.41
1.0270	25	49.36	0.4920	0.9690	48.82	− 0.54
1.0330	25	56.96	0.5740	1.1025	56.26	− 0.70
1.0380	25	64.96	0.6364	1.2900	64.07	− 0.89
1.0420	25	71.36	0.6975	1.4415	70.91	− 0.45

由表可知於均一之土壤懸液中，兩種方法得極近似結果，但實際上於任何土壤懸液中，密度差異必然存在。故爲使普通浮秤法與吸管法所得結果相互符合，最簡單之辦法仍改變下列兩點之一，即改變浮秤探測懸液密度之時間，或改變探測懸液深度。

D. 探測時間之改變：

爲改變探測懸液密度之時間，特舉行下列試驗。取定量之各種土壤，以普通浮秤法，鮑氏浮秤法及吸管法分析其機械組成，同時再以修正普通浮秤法分析之，其結果列於表6。

表 6. 普通浮秤法，修正浮秤法，吸管法及鮑氏法分析之結果*

土壤號數	<50μ 土粒含量 (%)				< 5μ 土粒含量 (%)				< 2μ 土粒含量 (%)			
	C	M	P	B	C	M	P	B	C	M	P	B
1	82.47	79.68	81.00	82.31	41.92	36.16	37.26	36.24	27.02	24.96	21.81	24.61
2	63.43	55.36	53.74	56.84	21.47	16.96	15.37	18.34	26.79	10.56	10.87	11.02
3	73.28	72.96	78.44	75.42	40.68	37.36	36.57	37.21	36.01	32.93	28.05	30.67
4	86.72	89.28	90.55	87.45	63.69	57.28	58.12	60.01	52.85	44.12	44.22	45.08
5	57.85	48.96	52.02	50.64	26.43	18.56	15.81	19.71	18.27	12.16	10.20	11.97
6	57.68	50.88	54.59	56.59	33.28	24.32	24.72	26.12	25.04	16.96	12.87	14.76
7	68.88	70.08	71.92	70.97	47.37	41.92	41.47	43.46	42.32	29.79	28.35	28.64

修正普通浮秤法之懸液密度探測時間依下法決定。試以表 6 中第 4 號土壤爲例，其用吸管法測得之粘土含量爲 58.12%。今若用該土壤 50g. 加定量草酸鈉爲分散劑以製成懸液 1000 ml.，則粘土含量爲 58.12% 時之懸液密度可由前述式 (1) 計算如下：土壤懸液之密度 $=0.9994+\frac{26.06}{1000}\left(1-\frac{0.9994}{2.65}\right)=1.0174$ g./ml.，上列數值係在温度 15° C 者。若在温度 22° C 及 26° C 行密度探測，則應校正如下：

22°C 時： $1.0174-0.0013=1.0161=1.0160$ g./ml.

26°C 時： $1.0174-0.0023=1.0151=1.0150$ g./ml.

今用相同土壤懸液，而於不同時間以普通浮秤探測其密度，以尋求密度成爲 1.0160 (22° C) 或 1.0150 (26° C) 時之探測時間，則得如表 7 之結果。依該表可知以 100 分鐘爲粘土適宜探測時間。以同様方法，探測> 50μ 及 >2μ 土粒之密度測定時間，覓得 60 秒及 10 小時爲最宜。玆爲明瞭計再將各種方法之探測時間，列於表 8 中。

表 7. 探測時間與懸液密度 (>5μ 土粒) 之關係

探測時間 (min.)	浮秤讀度	
	22° C	26° C
60	1.0180	1.0170
70	1.0175	1.0165
80	1.0170	1.0160
90	1.0165	1.0155
100	1.0160	1.0150

* 本表及以下各表中所用略號如下； P = Robinson 氏之吸管法；B = 鮑氏浮秤法； C=使用本浮秤代替鮑氏浮秤，分析步驟與鮑氏法同，稱之爲普通浮秤法； M=使用本浮秤而於分析步驟上作若干修改，稱之爲修正普通浮秤法。

表 8. 普通浮秤法之適宜探測時間

土 粒 種 類	粒 徑 (mm.)	鮑氏法探測時間	普通浮秤法探測時間
砂 粒	2.0-0.05	由差異計算	由差異計算
埴 土	0.05-0.005	40 sec.	60 sec.
粘 土	<0.005	1 hr.	100 min.
細 粘 土	<0.002	2 hr.	10 hr.

再爲證明修正之密度測定時間適於一般土壤計，於各修正時間行若干土壤之機械分析，其結果列於表 6 修正普通浮秤法 (M) 項下。由該表可知修正普通浮秤法所得之結果，與吸管法所得者相符，且其相符程度較鮑氏浮秤法與吸管法間者尤爲接近，是爲值得注意之點。

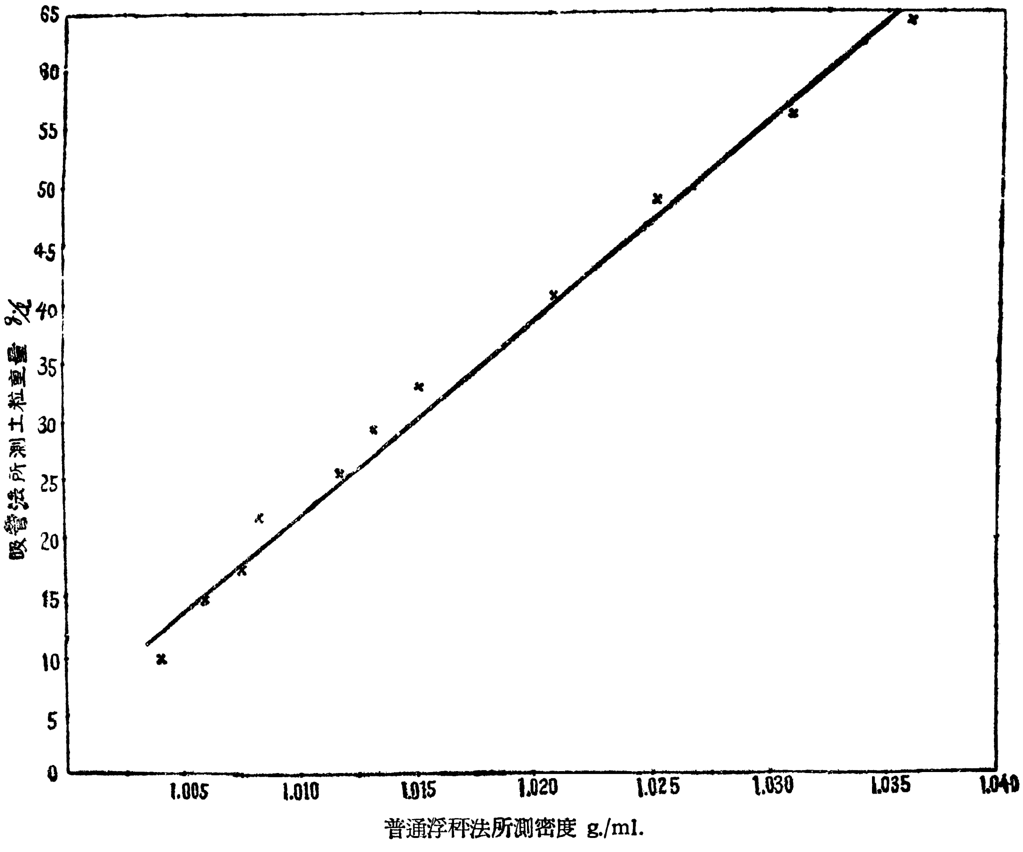
討 論

A. 本浮秤測得密度與粘土懸液濃度之關係

本浮秤倘可使用於土壤機械分析，則其所示讀度與土壤懸液濃度間必有正比例關係。換言之，即本浮秤讀度與土壤懸液濃度間成立一次函數之直線公式也。

由圖 1 可知，在上述 2 因子間確成立直線關係，y＝mx＋C，是證明本浮秤或其他普通浮

圖 1. 土壤密度與懸浮土粒重量之關係



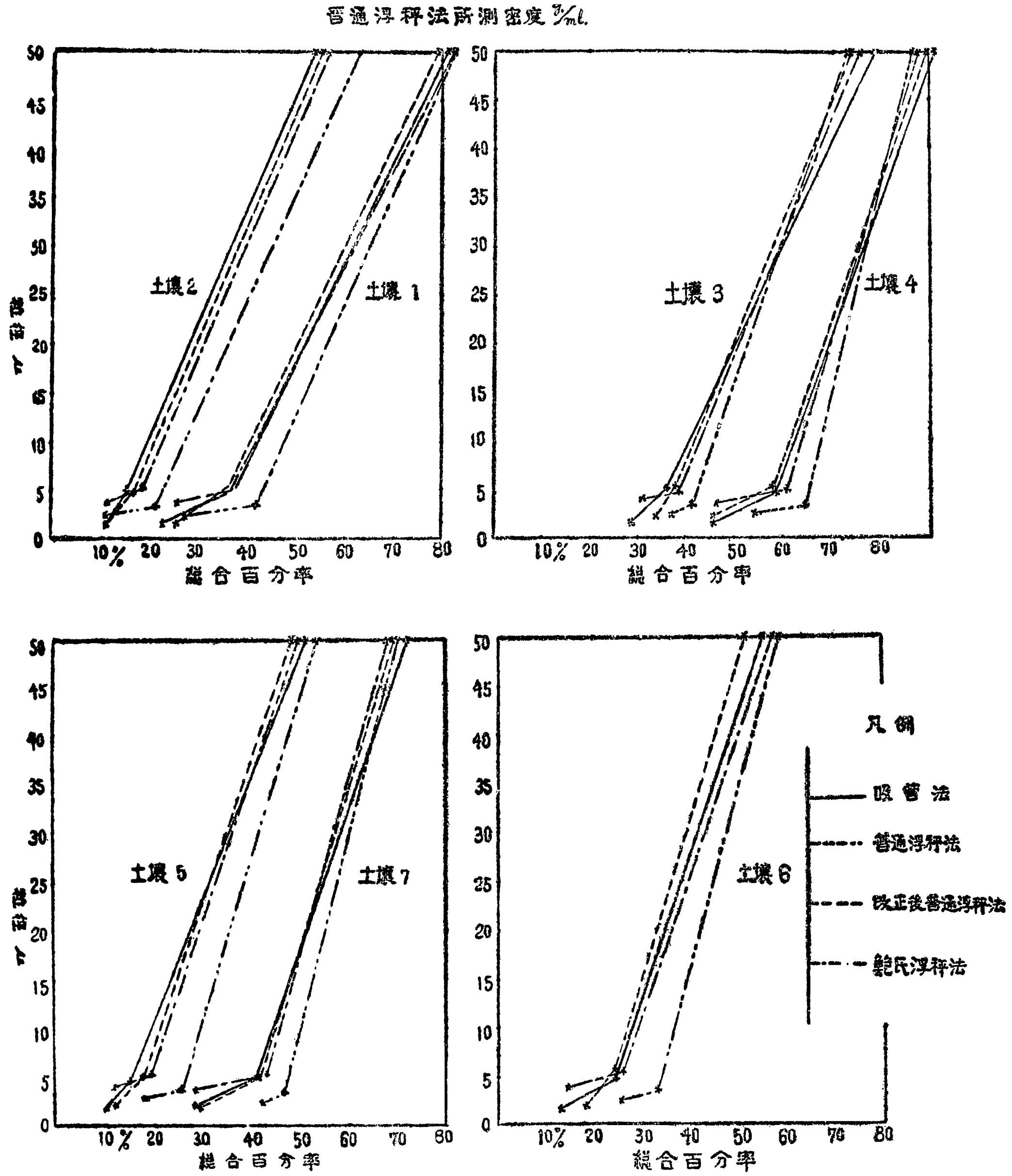
秤可用於土壤或其他微粒物質之機械分析也。

B. 修正普通浮秤法之土粒有效粒徑：

在鮑氏浮秤法中， Thoreen (*19*) 曾以 0.42 爲尋求粒徑之改正係數，但在修正普通浮秤法中，非特浮秤改變，即探測懸液密度之時間亦不相同，故應另行衍出一新係數，以計算土粒之有效粒徑。

在普通浮秤法之時間糾正試驗中，以吸管法爲標準，而使兩法所得結果相符合。玆仍以吸管

圖 2. 各土壤機械分析法所得總合曲線之比較



法爲準，而尋求其深度係數。吸管法在 22° C，取樣深度爲 10 cm. 時，對於 50 μ，5 μ 與 2 μ 土粒之取樣時間各爲 44 秒， 69 分，與 7 小時 37 分；如是可依 Stokes 定律 $\frac{s}{t}=cr^2$ 而求出下列比例式，計算普通浮秤法探測時間爲 60 秒，100 分，及 10 小時之沈降深度如下：

（1） 2μ 土粒在 10 小時後之沈降深度：今以分鐘爲單位，沈降深度 10 cm. 時，取樣時間爲 7×60+37=457 分鐘；10 小時即 600 分鐘時其沈降深度 S2μ 應等於

10 : 457=S2 μ : 600;　　　S2 μ=13 cm.

（2） 5μ 土粒在 100 分後之沈降深度：

10 : 69=S 5μ : 100；　　　S5μ=14 cm.

（3） 50 μ 土粒在 60 秒後之散澱深度：同上，但以秒鐘爲單位。

10 : 44=S50 μ : 60；　　　S 50 μ=13 cm.

就上列所得，修正普通浮秤法之沈降深度在 13—14 cm. 之間，今以其平均數 13 cm. 爲沈降深度，並依 Thoreen 法，以本浮秤於探測時淹沒於懸液中之平均長度 (30.7 cm.) 除之，則得一新係數 0.42，可用於修正後之普通浮秤法。此係數恰與鮑氏浮秤法之係數相同，故普通浮秤法於更正探測時間後，一切皆可襲用鮑氏法原有數值。惟其有效粒徑與讀度之關係，則須另就本浮秤之探測時淹沒之長度與新定之探測時間，有重新計算之必要。

C. 各種分析方法之符合程度：

土壤之機械組成可以總合曲線 (Summation Curve) 表示之，本試驗中所用各種方法雖不相同，但若每一方法皆極準確，則由各法分析結果，製成之同一土壤的總合曲線應相互重疊。玆依表 6 之分析結果，製成每種土壤之總合曲線於圖 2 藉資比較。由圖 2 之曲線，可知修正普通浮秤法於多數情形下，其所得之總合曲線與吸管法所得者極相符合，此點足資證明使用普通浮秤經相當修正後可用諸土壤，以求近似之機械組成。

Keen 曾述及「土壤物理學須以理論物理所歸納之正確理論與實驗爲基礎」，著者等從事於本研究間，深覺浮秤法雖經 Keen 認爲經驗性質，但若以理論解釋其分析步驟，並使之與吸管法（標準法）之測定數值相符合，則浮秤法亦可期趨於理論門徑也。

結　　論

普通精密浮秤經改正探測密度之時間後，可依鮑氏浮秤法使用於土壤之機械分析。

就本試驗所用之浮秤言，以 60 秒，100 分及 10 小時爲埴土，粘土與細粘土部份之適宜測定時間，並仍可引用 0.42 爲粒徑改正係數。其測定結果頗與吸管法所得者相符。

附　　錄

甲、鮑氏浮秤法之原理

鮑氏浮秤法之重要分析操作，乃於定量土壤中先加以定量分散劑（矽酸鈉或草酸鈉），攪拌後將懸液傾入水中，使其容積爲 1 l., 然後靜置之，俟一定時間後將浮秤插入懸液中觀察其密度，而由此密度計算浮游土粒之重量百分數。至密度與浮游土粒重量之關係則應用 Fisher-Odén 公式以求得之。

A. Fisher-Odén 公式

Fisher-Odén 公式表示懸液密度與浮游物質重量之關係，今以 W 爲浮游物質之重量；Pr 爲土粒密度，假定爲 2.65；Pw 爲水之密度 (0.9983 於 67°F)；L 爲懸液容積，1,000 ml.；Ps 爲土粒開始沈降後至 t 時刻之懸液密度，可以下式求得之。

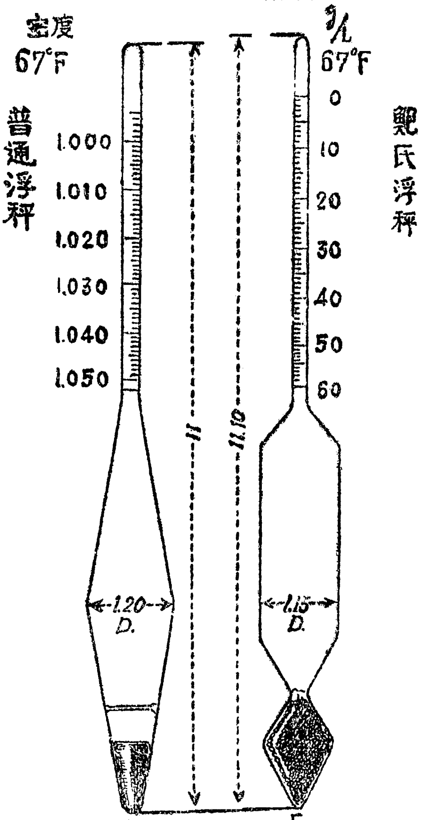
$$Ps=\frac{\text{水之重量}+\text{土粒重量}}{\text{水之容積}+\text{土壤容量}}=\frac{(L-\frac{w}{Pr})Pw+w}{L}=Pw+\frac{w}{L}(1-\frac{Pw}{Pr})$$

上式中 Pr，Pw 與 L 均爲已知數，故如 Ps 可以浮秤測定得之，則於 t 時刻後浮游於懸液中之土粒重量，w，即可計算得之。

B. 鮑氏浮秤之刻度法

鮑氏浮秤與普通浮秤不同處，即具有特殊之刻度表，藉以直接深測懸液中土粒之重量，今將其刻度法原理述明如下：設將 50 g. 土壤投入水中使懸液容積爲 1l.，水在 67° F 時之密度爲 0.9983，土壤比重爲 2.65，則 50g. 土壤完全浮游時之懸液密度依據 Fisher-Odén 公式應爲：$Ps=0.9983+\frac{50}{1000}(1-\frac{0.9983}{2.65})=1.0295$ g/ml.。懸液中若無土粒浮游，則其密度應與水同，即 0.9983 如是前後兩密度之差爲 0.0312 g/ml.，換言之，此數值即係由懸液中因含 50 g. 土壤所增加者也。今將此數值以 50 除之得一商數 0.000624 g/ml.，此值乃懸液中浮游每 1 g. 土壤所生之密度差。鮑氏浮秤根據上述原理，而區劃刻度爲 50，其密度上限爲 1.0295，下限爲 0.9983，而每刻度間之密度差爲 0.000624，故鮑氏浮秤上之每一刻度適示懸液中有 1 g 土粒浮游也。爲明瞭計，玆將鮑氏浮秤之構造及其與普通浮秤之比較，繪於圖 3 (*10*)，圖中表示長度之數字悉爲英寸。

圖 3. 鮑氏浮秤及普通浮秤



由上可知鮑氏浮秤不過爲另具刻度法之一種浮秤。倘於不同時間將鮑氏浮秤插入懸液中而觀測其刻度數目，則可直接得知當時浮游懸液中土粒之重量。

C. 懸液中各級土粒含量之測定法

懸液中各級土粒之含量，乃於不同時間將浮秤插入懸液中測定其密度而求得之，其於不同時間測定者乃根據 Stokes 定律。Stokes 定律爲解釋懸液中土粒粒徑與其沈降速度或沈降時間(在沈降深度規定時)之關係，其公式爲 $V=\frac{s}{t}=\frac{2}{9}gr^2\frac{d_1-d_2}{\mu}=Cr^2$，式中 V 爲某粒子之沈降速度，S 爲懸液中某平面之深度，t 爲該粒子沈降至該深度所需之時間，r 爲粒子之半徑，d_1 爲土粒之密度，d_2 爲介質(水)之密度，μ 爲介質之粘滯係數而 g 爲重力加速度。式中 g, μ, d_1, d_2 均爲已知數，爲計算方便計，將其數值以常數 C 代表之，

則上式成爲$\frac{S}{t}=Cr^2$，即在深度規定時粒子半徑之平方與沈降時間有反比例關係。故若欲探測某級粒徑土粒之含量，則可於前後不同時間，以鮑氏浮秤作兩次之測定，以求其測定值之相差數，此相差數即係在前後兩時刻之間隔間，通過某一定深度之平面而降落於下部某級之土粒重量也。例如欲求出塯土含量，則於沈降後 40 秒與 1 小時作兩次測定，以求其測定值之差數，此差數即爲塯土之含量。鮑氏浮秤法各級土粒含量之探測時間已列於本文之表 8 中。

至於由密度測定值，或浮秤讀度，求出各級土粒含量百分率之方法如下：以 h 爲某時間後浮秤所示讀度，△h 爲對測定值應加減之溫度校正值（其計算法於下節述之），P 爲懸液中某級土粒含量之百分數，w 爲供試乾燥土壤量 (105°C)，則 $P=\frac{h+\triangle h}{w}\times 100$，玆再以 $P_{0.05}$，$P_{0.005}$ 及 $P_{0.002}$ 爲照上式所得在 40 秒，1 小時，2 小時後懸液土粒含量百分率，則原土中所含砂，塯土及粒土含量百分率如後：

砂 $\% = Psa = 100 - P_{0.05}$

塯　土 $\% = Psi = P_{0.05} - P_{0.005}$

粘　土 (>0.005mm.)$\% = Pc = P_{0.005}$

粘　土 (0.005-0.002mm.)$\% = Pc = P_{0.005}\ P_{0.002}$

細粘土 (>0.002mm,)$\% = Pcf = P_{0.002}$

乙、鮑氏浮秤法測定值之校正

鮑氏浮秤之刻度表係在某規定情形下，如溫度爲 67°F，土壤比重爲 2.65 等，故於不同環境使用時應另做測定值之校正以求正確，玆分述各種校正方法及應作校正之理由於後：—

A. 溫度差異所應作之校正

水之密度因溫度而有差異，而密度不同又影響及浮力，浮力不同時浮秤之昇降及所示之讀度亦有顯著差異。鮑氏浮秤 (*2*) 係以 67°F 爲標準，故懸液之溫度若低於該溫度，則水之密度較大，浮力亦隨之增加，致使浮秤浮出水面之部份較多，所示讀度較眞正讀度爲高，故由測定值減去校正值 △h，方能求得其眞正數值。若溫度高於 67°F，測定值應加以校正值，故諸校正值之加減（一、＋），依懸液溫度較 67°F 高低而定。

校正值 △h 之求法 (*1*)，乃由純水在某溫度時之密度減去水在 67°F 時之密度，而求出其相差數，然後再以鮑氏浮秤每一刻度之密度差，0.000624，除之求得。

$$\triangle h=\frac{\text{試驗時某溫度水之密度}-\text{水在 67°F 之密度}}{0.000624}$$

照上式求得之溫度校正值，係對華氏每度應加減者。鮑氏 (*2*) 以此值約略等於 0.2，實則未然。玆將水在各不同溫度之密度與鮑氏浮秤在各不同溫度應有之校正值，列於表 9. 以供參考。

表 9. 鮑氏浮秤法之溫度校正值

溫　度 (°C)	溫　度 (°F)	水之密度(g./ml.)	與67°F 水密度差	溫度校正值
14	57.2	0.999244	0.000927	－1.48
16	60.8	0.998943	0.000626	－1.00
18	64.4	0.998595	0.000278	－0.44

表 9. 鮑氏浮秤法之温度校正值（續）

温　度（°C）	温　度（°F）	水之密度(g./ml.)	與62°F 水密度差	温度校正值
19.44	67.0	0.998317	—	0
20	68.0	0.998203	0.000114	+ 0.18
22	71.6	0.997770	0.000547	+ 0.87
24	75.2	0.997296	0.001021	+ 1.63
26	78.8	0.996783	0.001534	+ 2.45
28	82.4	0.996232	0.002085	+ 3.34
30	86.0	0.995646	0.002671	+ 4.28

B. 懸液中各級土粒粒徑之計算法

供試懸液自靜置後經過一定時間，其中大小土粒之分佈情形，與靜置初期者相較，顯有不同。蓋大小土粒之沈降速度不同，大者先行沈降，而小者仍浮游於介質中，使懸液中微粒子之含量比率增加。吾人如觀察懸液中某深度之密度，則可知其隨時間而變化，此項變化之趨向，或在某一定時間懸液密度隨深度之變化趨向，概名之曰，密度變化率。其數值依土壤種類，探測時間以及浮秤之構造而有不同。故使用某種浮秤作機械分析時，對此密度變化率，必須加以注意。前文曾屢述及在某一定時間用鮑氏浮秤探測懸液密度，其所得之數值乃在該時間，該懸液全深度之平均密度，並非表示某固定深度平面之密度。此深度而於各種土壤中而不同，又依上述密度變化率，故唯有以統計方法求出一適合大多數情形之數值。一般土壤機械分析法（如吸管法），其土粒粒徑係利用 Stokes 公式求得之，但鮑氏浮秤法雖探測時間有所規定，但土粒沈降深度不明，故不能直接利用Stokes 公式，而必須另用間接方法求出。

據前人研究結果，謂鮑氏法之深度數值，可由鮑氏浮秤在探測時淹沒於懸液中之長度乘深度係數（Depth Factor）而得之。此係數就理論上言，應就每一土壤，每一浮秤作實地測驗求出，方合正軌。Thoreen (*19*) 據實驗結果之統計，以 0.37—0.50 間之平均數爲普通係數，即將此係數乘以浮秤所淹沒長度而得土粒沈降深度之數值。

各種土壤之機械組成各異，故於一定時間後將浮秤插入懸液中，其浮起與淹沒之長度各不相同。於每次探測後，欲尋求當時浮游土粒之有效粒徑，則須依照上敍方法，先求探降深度，再依 Stokes 公式計算。但分析大量樣品時，每次計算未免手續過繁，爲簡便計，可採用圖式法（Graphing Method）。其法先以尺度量測鮑氏浮秤由底部至讀度 0°, 20°, 40°, 60° 之長度，然後將各長度乘以 0.42 則可獲 L_0, L_{20}, L_{40}, L_{60} 等值，嗣再用 Stokes 公式計算於 1 小時及 2 小時後沈降至該深度之土粒有效粒徑 D_{0-1}, D_{20-1}, D_{40-1}, D_{60-1}（1小時後）；D_{0-2}, D_{20-2}, D_{40-2}, D_{60-2}（2小時後）等值。若以讀度爲橫軸，粒徑爲縱軸，用上敍各有效粒徑可製成二曲線，各代表 1 小時及 2 小時後懸液中浮游土粒之有效粒徑。於是任何時間及任何讀度時之土粒有效粒徑，可由圖中查出矣。

C. 加入分散劑於懸液中所應作之校正

鮑氏浮秤法常於懸液中加一定量之分散劑如 Na_2SiO_3, $Na_2C_2O_4$, NaOH 等以增進土粒之分散程度。此分散劑之加入，對懸液密度不無影響，故應予以適當校正。今試以 Na_2SiO_3 爲例，水於 67°F 時密度爲 0.9983, 如加入 5 ml. 之 1N. Na_2SiO_3 於水中，並使溶液容積爲 1l.，則可使

溶液密度增高爲 0.9986, 是時溶液與純水之密度差異，適等於鮑氏浮秤之 1 刻度。換言之，由於分散劑之加入而使浮秤讀度較應有之讀度昇高 1 度。理論上加入分散劑後應由浮秤讀度減去 1 度以校正之，但在普通情形下，吾人觀察浮秤讀度每有少讀 1 度之傾向，此係由於浮秤與懸液接觸面所呈凸形而不明顯所致，於是正負適可相抵。因實際上少量分散劑之加入，對測定值所生影響甚小可略而不計。

D. 鮑氏浮秤法校正值圖式法之應用

前述各項，雖將諸校正值之問題加以剖析說明，但應用上若於每得一讀度後，分別校正其温度，粒徑以至土壤比重等，殊覺不便。爲減少此種不便計，可用各項校正值之綜合的圖式法 (*10*) 以解決之。吾人於測得一讀度後，首先欲知者，即爲該讀度代表土粒量對全樣品之百分數，其次則爲各百分數所代表土粒之有效粒徑。玆將此兩問題之圖式列於圖 4 及圖 5，並說明其用法於後。

圖4爲讀度與懸液中土粒百分數之關係，在標準情況下(67°F, 土粒比重 2.65, 使用樣品量 50 g.) 則 P=2h。不在此標準情況下時，任何浮秤讀度所表示之百分數可由圖 4 求得之，求得之方法乃於圖之左下角選出試驗時之温度，再於右上角選出供試土比重與重量交合之一點，連此二點成 1 直線，則每 1 讀度於該情形下所表示之百分數極易讀出矣。圖 4 中原有之 3 曲線，其 1 經標注者係在標準情形下之曲線，另兩條則爲在不同之試驗環境下所繪製之曲線。

圖 5 乃表示浮秤讀度與浮游土粒最大粒徑之關係，應用時先用透明之描繪紙(Tracing Paper)置於圖上使相重疊，在描繪紙上以浮秤讀度爲縱軸，以沉降時間爲橫軸，然後依據試驗時之沈降時間與讀度，製成一條曲線。最後視圖在上角所予之土壤比重與温度改正之距離，向左或右移動描繪紙，至適當之距離後，可由描繪紙透視視圖上所載相當各讀度之最大粒徑。

圖 4. 鮑氏浮秤讀度與懸液中土壤百分數

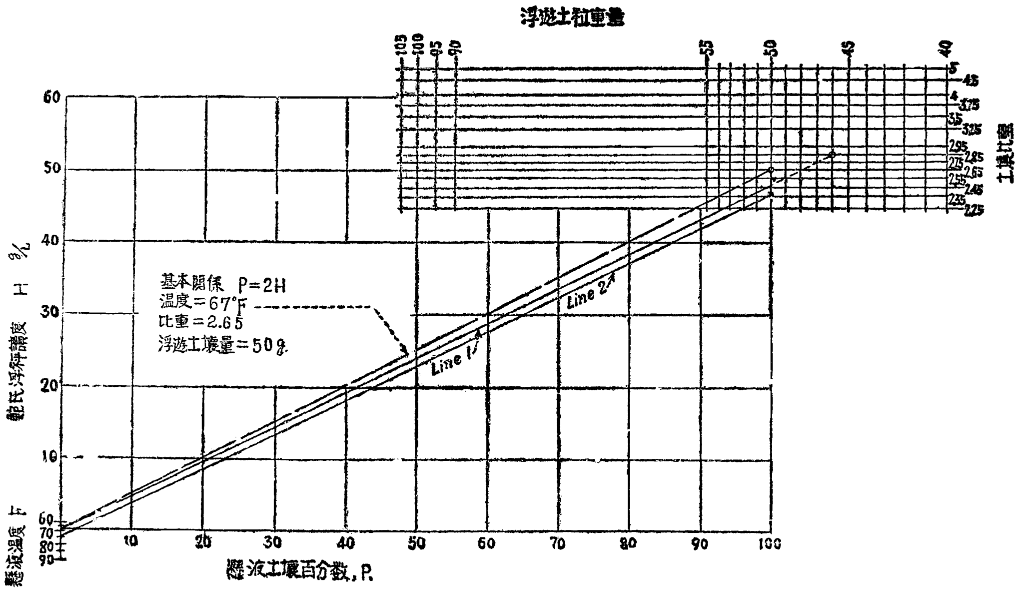
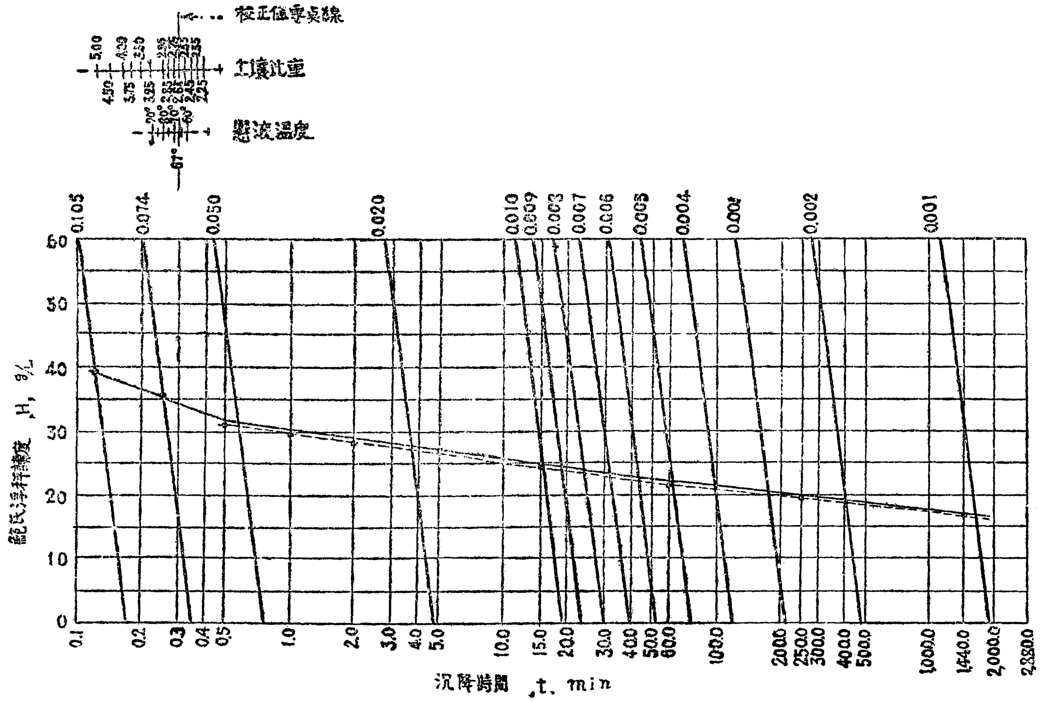


圖 5. 鮑氏浮秤法之土粒粒徑校正



丙、鮑氏土壤分析法

將供試土壤以 2 mm. 籭篩篩過之，先作水分定量，然後秤 50 g. (粘土及壤土類)，或 100g. (砂土類) 之無水土壤供分析之用。秤量須準確至 0.01 g. 供試土壤如呈固結狀，須先搗碎之使成粉狀，俾利於分散。供試土壤中如含有機物較多，則須事先注入 50 ml. 6% 過氧化氫，並置於温暖處一夜，使漸次分解。嗣將所秤一定量土壤置於分散盃中，加蒸溜水至杯口下 1 ½ 吋處，然後加入 1N. Na_2SiO_3 或 1N. $Na_2C_2O_4$ 5 ml.，予以攪拌，使土粒完全分散。攪拌器之作用時間在砂土類爲 5 分鐘，其他土類 10 分鐘，但固結堅密之土壤則需 30 分鐘，普通多以 15 分鐘爲度。攪拌完畢後，將土壤懸液由盃中移注於 1,000 ml. 量筒中，加蒸溜水至 1,000 ml. 標線，而以圓盤上附以長約 45 cm. 棒之攪動器，上下搖動數次，使懸液中土粒分佈均勻。攪動完畢，將量筒靜置於臺上，記錄其開始靜置之時間，而於指定時間 (表 8) 探測懸液之密度。探測密度時在指定時間前 20 秒，將浮秤徐徐插入，愼勿使懸液受任何擾動，讀得讀度後，取出浮秤，清潔之放回原處，再浸入溫度計，以探測懸液之溫度。

使用浮秤前務須注意其是否乾燥清潔，倘懸液中含有多量有機質，則於液面常生成多數氣泡致使浮秤與懸液之界面不明顯，故宜加戊醇 (Amyl Alcohol) 1 滴以消滅之。探測所得之讀度與溫度，須同時記載，以備計算及查考之用。

照上列步驟，於每規定時間 (40 秒，1 小時，2 小時) 作懸液密度與溫度之測定，於每次密

度測定後，須將懸液重新攪動一次，重新記載其開始沈降之時間。所得結果利用圖 4，圖 5 作適宜之改正，而可求出供試土壤之機械組成矣。

參 考 文 獻

1. BODMAN, G. B. Laboratory experiments on the physical properties of Soils. University of California Press. pp. 12-16. 1937.
2. BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. Soil Sci. 23:343-350. 1927.
3. ———. The ultimate natural structure of soils. Soil Sci. 28:27-37. 1929.
4. ———. Rapid determination of the colloidal content and mechanical analysis of soils. Bul. 9. Report of 10th. Annual Meeting of the Amer. Soil Surv. Assoc. pp. 197-205. 1930.
5. ———. A. comparison between the pipette method and hydrometer method for making mechanical analysis of soils. Soil Sci. 38:335-354. 1934.
6. CROWTHER, E. M. A manometric apparatus for the direct determination of summation curves in the mechanical analysis. 1st Intl, Cong. Soil Sci. 1:185-206. 1928.
7. GERDEL, R. W. Adaptation of the hydrometer method to aggregate analysis of soils. Jour. Amer. Soc. Agron. 30:107-110. 1938
8. GIACANIN, M. Die Temperaturwirkungen bei der mechanische Bodenanalyse. Trans. 3rd. Intl, Cong. Soil Sci. 1:34-38. 1935.
9. GOULDEN, C. H. Methods of statistical analysis. John Willy and Sons Inc. New York. Chapter 9. 1939.
10. HOGENTOGLER, C. A. and HOGENTOGLER, Jr. C. A. Engineering properties of soils. Mc-Graw-Hill Company. New York. 1937
11. KEEN, B. A. Some comments on the hydrometer method for studying soils. Soil Sci 33:251-258. 1928.
12. KRUMBEIN, W. C. A history of the principles and methods of mechanical analysis. Jour. Sedim. Petrol. 2:89-124. 1932.
13. ODEN, S. Eine neue Methode zur mechanischen Bodenanalyse. Intl. Mitt. Bodenk. 5:257-311. 1915.
14. OLMSTEAD, L. B., ALEXANDER, L. T., and LAKIN, H. W. The determination of clay and colloid in soils by means of a specific gravity balance. Amer. Soil Surv. Assoc. Bul. 12:161-166. 1931.
15. PEELE, T. C. The microbial activities in relation to soil aggregation. Jour. Amer. Soc.Agron 30:204-212. 1940.
16. RICHTER. C. The temperature correction in the hydrometer method of mechanical analysis of soils. Soil Sci. 35:89-92. 1931.
17. ROBINSON, G. W. A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. Jour. Agr. Sci. 12:306-321. 1922,
18. ————. The form of mechanical composition curves of goils, clay and other granular substances. Jour. Agr. Sci 14:626-633. 1924.
19. THOREEN, R. C. Comments on the hydrometer method of mechanical analysis. Public Roads. 14:93-105. 1933.
20. WIEGNER, G. Ueber eine Methode der Schlammanalyse. Land. Vers. Stat. 91:41-79. 1918.

The Use of Common Hydrometer for the Mechanical Analysis of Soils.

C. T. CHEN and M. HUA.

The use of common hydrometer in place of the one specially designed by Bouyoucos for the mechanical analysis of soils was investigated. The hydrometer employed has a length of 35cm, measuring density from 1.000 to 1.200 g./ml. The total division is 200 and each division corresponds to a density gradient of 0.001 g/ml. It was calculated by the application of Fisher-odén equation that one division of the hydrometer employed corresponds to 1.6077 g. of soil suspended in suspension at 15°c, if 50 g. of soil were suspended in 1 liter of water at the very beginning of analysis by the use of 5 ml, lN. sodium oxalate as the dispersing agent, and assuming that the density of soil equalled 2.65.

To adapt the present hydrometer for mechanical analysis of soils, the following two points were considered fully:

1. To modify the time of taking hydrometer reading;
2. To modify the depth factor for the correction of particle size.

It was found by checking with the international approved pipette method, that 60 sec., 100 min. and 10 hrs. were the appropriate time of taking hydrometer readings for particles smaller than 50, 5 and 2 microns respectively. A new depth factor, 0.42, which was exactly the same as postulated by Thoreen, was also derived independantly by suitable calculation from the analytical data so far obtained and by the application of Stokes' Law. The part of hydrometer immersed in the suspension multiplied by the factor given above gave the proper settling depth of soil particles at the time of reading. By the time of taking reading and the depth of settling, the maximum particle size could be easily computed.

By fftting all the results so far analyzed by pipette, Bouyoucos hydrometer and the common hydrometer methods in summation curves proposed by Robinson, it was observed that in most cases the curves obtained by the common hydrometer method laid closer to that obtained by pipette method.

A brief review of the theoretical ground and analytical procedure of the Bouyoucos hydrometer method was also given.